

RANCANGAN RANGKAIAN DEAD BAND DAN BUFFER PADA *OUTPUT* PEMBANGKIT PULSA

Fathoni¹ dan Agus Pracoyo²

Abstrak

PWM bipolar dapat dibangun dari pembangkit tunggal dengan penambahan pembalik. Penggunaan PWM bipolar pada rangkaian H-bridge harus ditambahkan dead band atau dead-time agar terhindar dari hubung singkat saklar segaris atau shoot-through.

Pembangkitan dead band pada masing-masing pulsa PWM bipolar dapat menggunakan rangkaian RC seri yang diumpankan ke gerbang penyulut Schmitt. Konstanta waktu dari pengisian kapasitor menentukan lebar dead band yang terbentuk. Lebar dead band yang ditetapkan dipertimbangkan dari lebar pulsa minimal (duty cycle minimal) yang mungkin terjadi dalam suatu proses pengendalian.

Dalam penelitian ini ditetapkan dead band sekitar 10 μ s, frekuensi pulsa 1k Hz dan duty cycle terendah 5% atau lebar pulsa 50 μ s. Digunakan gerbang TTL7414, R seri = 4k7 Ω dan C = 2,2 nF. Hasil yang didapat adalah dead band sebesar 7 μ s.

Penambahan dead band dengan gerbang TTL dapat menyebabkan penurunan kemampuan arus output rangkaian dan untuk itu perlu ditambahkan rangkaian penyangga. Rangkaian penyangga merupakan konfigurasi totem pole BJT jenis BC107 dan BC177. Kemampuan arus output tinggi, IOH = 70mA sedangkan arus output level rendah, IOL = 40mA.

Kata-kata kunci: PWM, bipolar, dead band, shoot through, penyangga

Abstract

Bipolar PWM can be constructed from a single generator with an inverting addition. The use of bipolar PWM in H- bridge circuit must be added dead band or dead time to avoid short circuit inline switch or shoot-through.

^{1,2} Dosen Program Studi Teknik Elektronika, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang

The generation of dead bands on each bipolar PWM pulse can use series RC circuits fed to Schmitt trigger gates. The time constants of the charging capacitor determine the width of the formed dead band. The specified dead band width is considered from the minimum pulse width (minimal duty cycle) which may occur in the control process.

In this study the dead band set about $10\ \mu\text{s}$, 1 k Hz pulse frequency and the lowest duty cycle 5% or $50\ \mu\text{s}$ pulse width. Used TTL 7414 gate, R series = $4\text{ k}\Omega$ and $C = 2,2\ \text{nF}$. The result is a dead band of $7\ \mu\text{s}$.

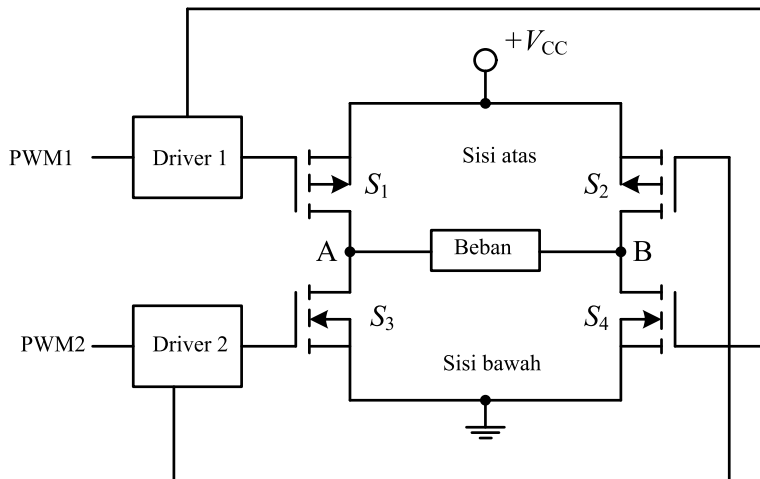
The addition of dead band with the TTL gate can cause a decrease in the output current capability of the circuit, both for low or high and for it is necessary to be added a buffer circuit. The buffer circuit is a BJT totem pole configuration of BC107 and BC177 types. High level output current capability, $I_{OH} = 70\ \text{mA}$ and low level output current, $I_{OL} = 40\ \text{mA}$

Keywords: Power factor, PFC, reactive power compensation

1. PENDAHULUAN

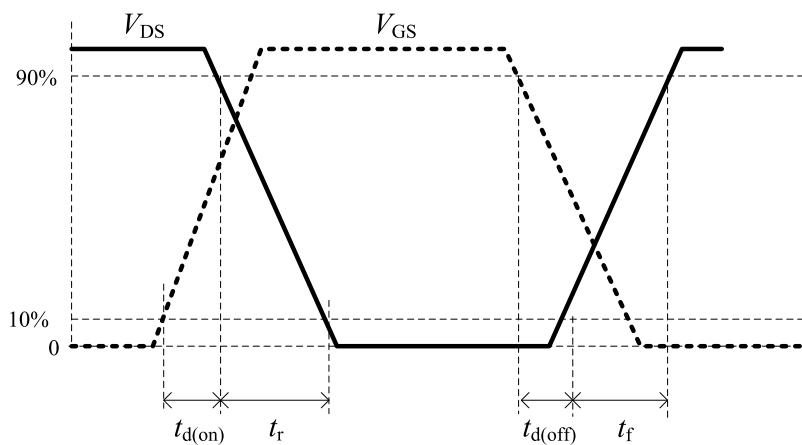
Penambahan *dead band* pada PWM bipolar dilakukan untuk menghindari terjadinya hubung singkat saklar segaris (*shoot-through*) dalam rangkaian H-bridge. Terapan PWM bipolar pada rangkaian H-bridge menjadikan kedua pasang saklar diagonal bekerja *on* dan *off* secara bergantian. Hubung singkat saklar segaris dapat terjadi karena dalam waktu yang sama, keduanya masih dalam keadaan *on*. Saklar sisi atas dari keadaan *on* menuju *off* sedangkan saklar sisi bawah yang segaris berubah dari keadaan *off* ke *on* ataupun sebaliknya.

Keterlambatan waktu off dari saklar adalah adanya waktu tunda *on*, $t_{d(\text{on})}$ dan waktu tunda *off*, $t_{d(\text{off})}$ serta waktu naik, t_r dan waktu turun, t_f dari saklar semikonduktor yang digunakan sehingga persilangan waktu dari keduanya dapat terjadi dalam keadaan sama-sama *on*. Contoh terapan gelombang PWM bipolar untuk rangkaian inverter jenis H-bridge ditunjukkan dalam Gambar 1. Pasangan saklar S_1 , S_4 dan S_2 , S_3 berlaku *on* dan *off* secara bergantian sehingga tegangan pada beban menjadi bolak-balik.



Gambar 1. Rangkaian H-Bridge Mosfet

Tanggapan mosfet dari pulsa pemicu, V_{GS} terhadap pulsa output, V_{DS} dilihat dalam Gambar 2. Selain waktu untuk perubahan naik dan turun, ada waktu tunda untuk keadaan on, $t_{d(on)}$ dan waktu tunda untuk keadaan off, $t_{d(off)}$. Parameter switching dari beberapa jenis mosfet ditunjukkan dalam Tabel 1.



Gambar 2. Karakteristik Switching Mosfet

Pembangkit PWM monopolar dapat dilakukan dengan IC NE555 ataupun rangkaian pembangkit lain. Pengubahan dari monopolar ke bipolar dapat dilakukan dengan gerbang TTL 7414 (Schmitt *trigger inverter*) yang sekaligus juga digunakan untuk memberi *dead band* pada masing-masing pulsa output. Pembangkitan *dead band* dilakukan dengan pemanfaatan level tegangan input *threshold* yang diumpani dari tegangan pengisian

kapasitor rangkaian RC seri. Level tegangan *threshold* positif dan negatif dari gerbang Schmitt akan mengubah kurva pengisian kapasitor menjadi pergeseran waktu naik pulsa.

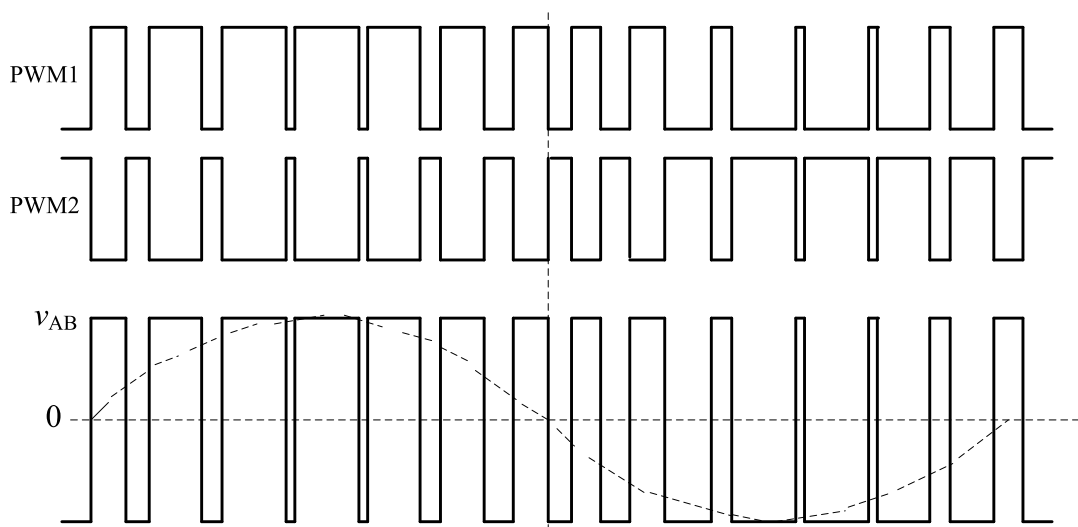
Tabel 1. Data Switching Beberapa Mosfet

Divais	Kanal	$t_{d(on)}$ (ns)	t_r (ns)	$t_{d(off)}$ (ns)	t_f (ns)
IRF540	N	11	44	53	43
IRFZ44	N	14	110	45	92
IRF3205	N	14	101	50	65
IRF9540	P	16	73	34	57
IRF9Z24N	P	13	55	23	37
FDN340	P	42	18	50	12

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Terapan Bipolar PWM

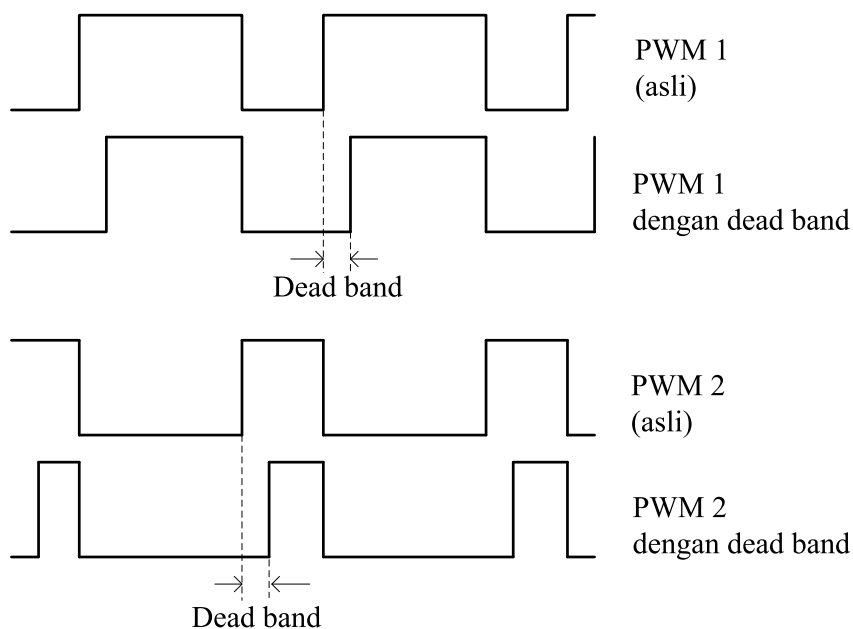
Salah satu kegunaan dari PWM bipolar adalah sebagai pemicu atau penggerak mosfet dalam rangkaian H-bridge untuk mengubah besaran dc menjadi gelombang ac. Gelombang output yang dihasilkan tidaklah berbentuk sinus asli tetapi merupakan perubahan lebar pulsa yang secara rata-rata menjadi gelombang sinus seperti yang terlihat dalam Gambar 3. Inverter jenis ini disebut sebagai *Sinusoidal Pulse Width Modulation* (SPWM), (Anuja N dan Marshal S, 2014).



Gambar 3. Bentuk Gelombang SPWM

2.2 Dead band

Dead band atau *dead time* adalah jeda waktu naik pulsa. Penambahan *dead band* diawal waktu naik pulsa diperlukan untuk mengatasi terjadinya hubung singkat namun *dead band* yang terbentuk akan mengurangi lebar pulsa masing-masing kutub PWM sehingga dalam perancangannya, lebar *dead band* perlu memperhitungkan lebar pulsa minimal dan frekuensi dasar PWM. Jika lebar *dead band* lebih besar dari lebar pulsa minimal atau pada *duty cycle* terkecil, maka pulsa tersebut akan hilang. Gambaran *dead band* sebagai pengaman *shoot-through* dalam PWM bipolar dan ditunjukkan dalam Gambar 4. (Vincent Sieben, 2003)



Gambar 4. Pemberian *Dead band* pada PWM Bipolar

2.3 Penyangga (*Buffer*) Output

Pembangkit pulsa yang dibangun dari NE555 mempunyai kemampuan arus serap (*sink current/ I_{OL}*) dan arus sumber (*source current/ I_{OH}*) sama-sama besar ($\approx 200\text{mA}$). Sedangkan kebanyakan gerbang TTL tidak dilengkapi dengan penyangga sehingga kemampuan arus serap jauh lebih besar dibanding arus sumber dan pada gerbang TTL 7414, nilai arus serap 10 kali arus sumber. Penambahan gerbang TTL dalam membangkitkan *dead band* menjadikan output rangkaian tidak mempunyai penyangga

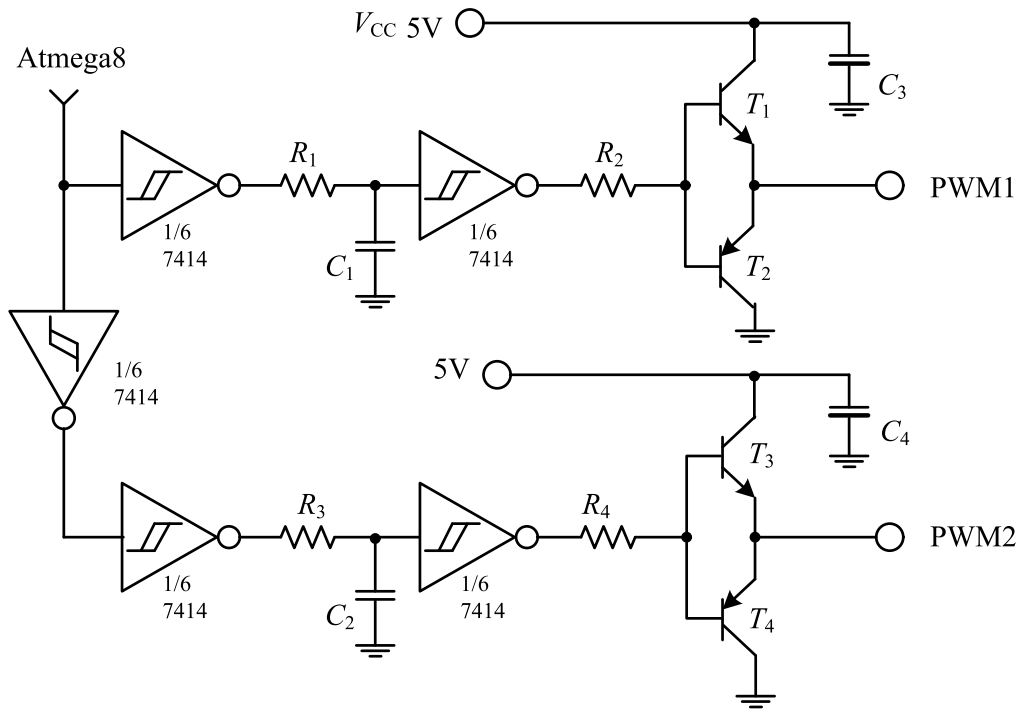
lagi dan agar dapat digunakan sebagai penggerak beban dalam keadaan tinggi maupun rendah dengan kemampuan yang sama diperlukan tambahan rangkaian penyangga. Rangkaian penyangga dapat berupa transistor tunggal maupun ganda dalam susunan *totem-pole* seperti pada kebanyakan rangkaian output gerbang TTL (David L Hieserman, 1980).

3. METODE

Penelitian dimulai dari penentuan jenis rangkaian, data parameter komponen yang digunakan, perhitungan rancangan dan implementasi rangkaian pembangkit *dead band* dan penyangga pada papan percobaan untuk diuji. Modifikasi ataupun revisi dilakukan untuk mendapatkan skema rangkaian yang tepat. Perhitungan rancangan berdasarkan ketentuan yang ditetapkan atau spesifikasi rancangan. Data hasil pengujian dianalisis untuk kesimpulan.

3.1 Rancangan Pembangkit *Dead band*

Output dari pembangkit PWM dihubungkan ke input 2 buah gerbang pembalik. Satu gerbang berguna untuk membalik pulsa sehingga menjadi 2 buah pulsa berbalikan yang simetris atau PWM bipolar. Kedua jalur pulsa tersebut kemudian dihubungkan ke rangkaian penyangga seperti terlihat dalam Gambar 5.

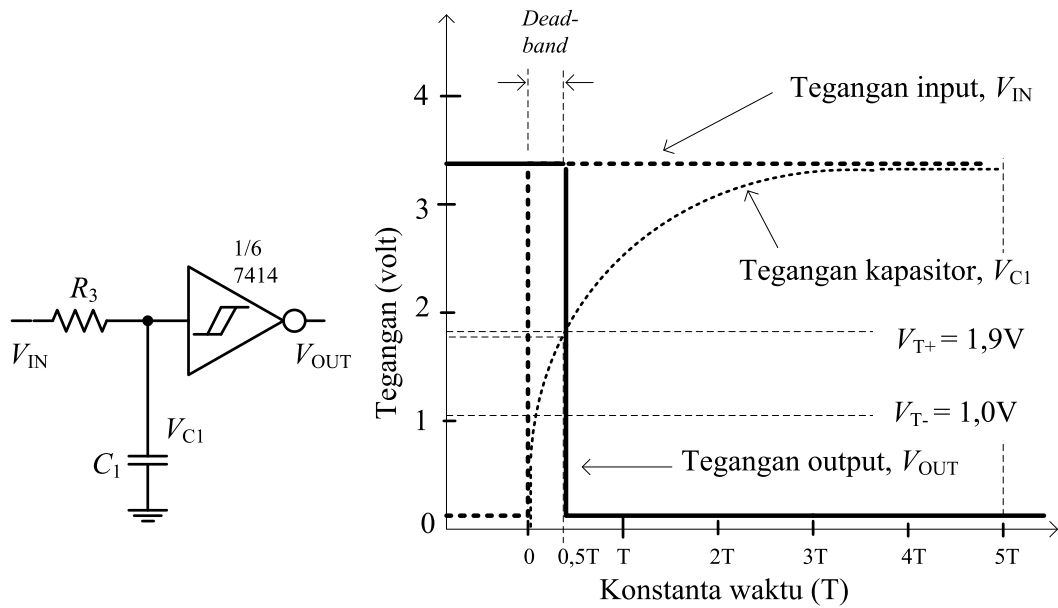


Gambar 5. Rangkaian Pembangkit *Dead band* dan Penyangga

Pembangkitan *dead band* dilakukan menggunakan gerbang TTL 7414 (*Schmitt trigger inverter*) dan rangkaian RC seri. Kurva lengkung tegangan pengisian kapasitor akan melintasi level tegangan *threshold* positif maupun negatif gerbang TTL 7414 sehingga menghasilkan penundaan waktu naik pulsa.

Kurva pengisian kapasitor untuk tegangan input bentuk pulsa dipengaruhi oleh frekuensi dan konstanta waktu T atau RC . Untuk pulsa dengan frekuensi tinggi atau dengan periode kurang dari $5T$ maka puncak pulsa tidak pernah tercapai oleh kurva pengisian sedangkan pada pulsa dengan periode lebih besar dari $5T$, puncak pulsa akan tercapai pada $5T$. Pada $0,7T$ tercapai $V_C = \frac{1}{2} V_{IN}$ dan pada $1T$, $V_C = 0,63 V_{IN}$. (Wayne Storr, 2014).

Untuk memudahkan perhitungan, rancangan dilakukan dengan cara grafis. Lebar *dead band* ditetapkan lebih besar dari waktu *switching* mosfet dan lebar pulsa minimal. Jika frekuensi pulsa adalah $1k$ Hz dan *duty cycle* minimal 5% maka lebar pulsa minimal adalah $50\mu s$ sedangkan total waktu *switching* mosfet dalam Tabel 1 tidak melebihi $1\mu s$. Jika lebar pulsa minimal adalah $5T$ dan ditetapkan lebar *dead band* sekitar $10\mu s$. Kurva pengisian dari pulsa input dan tanggapan TTL7414 ditunjukkan dalam Gambar 6.



Gambar 6. Pembentukan *Dead band*

Berdasar grafik kurva dalam Gambar 6, V_{T+} tercapai pada $0,55V_{IN}$ atau sedikit di atas $0,7T$ dan jika *dead band* berada di nilai tersebut maka lebarnya sekitar $7\mu s$.

Pada saat pulsa diterapkan ke rangkaian RC seri, output TTL menjadi terhubung singkat sesaat ke jalur GND. Untuk itu perhitungan resistor seri dihitung untuk arus output tidak lebih besar dari $I_{OH(max)}$.

$$R_1 = R_3 = V_{OH}/I_{OH(max)} = 4.250\Omega$$

$$C_1 = C_2 = T/R_1 = (7.10^{-6})/4.250 = 1,6nF$$

Ditetapkan $R_1 = R_3 = 4.300\Omega$ 1% dan

$$C_1 = C_2 = 2,2nF$$

3.3 Rancangan Rangkaian Penyangga

Rancangan rangkaian penyangga dipertimbangkan dari parameter arus dan tegangan output pembangkit PWM yang dibangun dari NE555 terhadap output rangkaian pembangkit *dead band* 7414 seperti yang terlihat dalam Tabel 2.

Output rangkaian pembangkit *dead band*, yaitu inverter 7414 mempunyai kemampuan arus yang tidak seimbang untuk keadaan output level tinggi terhadap level rendahnya, yaitu $I_{OL} = 10$ kali

I_{OH} . Keadaan ini menjadikannya tidak cukup mampu dibebani untuk aktip tinggi dengan arus lebih dari 0,8mA

Tabel 2. Parameter TTL 7414 dan NE555(Logic Databook, 1982)

Divais	$V_{OH(Typ)}$	$V_{OL(max)}$	$I_{OH(Max)}$	$I_{OL(Max)}$	$V_{T+(Max)}$	V_{T-} (Max)
SN7414	3,4 V	0,4 V	-800 μ A	4 mA	1,9V	1,1V
NE555	3,3 V	0,4 V	-200 mA*	200 mA*	-	-

Catatan: * Nilai tipikal

Untuk itu perlu ditambahkan rangkaian penyangga dan dalam rancangan ini digunakan jenis *totem-pole BJT*. Type pnp di sisi bawah dan type npn di sisi atas. Kedua transistor dalam konfigurasi *common-collector* (CC) sehingga tidak terjadi penguatan tegangan. Arus basis kedua transistor tergantung dari beban dan faktor penguatan arus dan dibatasi oleh parameter arus output TTL 7414 sehingga penentuan resistor tidak penting. Ditetapkan $R_2 = R_4 = 56\Omega \frac{1}{2}W$.

Dipilih BC107 dan 177 untuk rangkaian *totem-pole* karena h_{FE} yang tinggi (lebih dari 100), V_{CE} yang rendah (0,6 volt) dan dengan arus kolektor maksimal hingga 100mA. (Philips, 1997).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian rangkaian pembangkit *dead band* diuji dengan input pulsa 1k Hz, *duty cycle* 5% hingga 90%. Lebar *dead band* yang dihasilkan diukur dengan oscilloscope. Sedangkan pengujian rangkaian penyangga dilakukan untuk keadaan output tinggi dan rendah dengan beban resistor geser. Data arus output diukur dengan mengatur beban hingga tegangan output mencapai nilai maksimal maupun minimal sesuai dengan nilai TTL standar. Skema pengujian parameter tegangan dan arus output rangkaian penyangga ditunjukkan dalam Gambar 8.

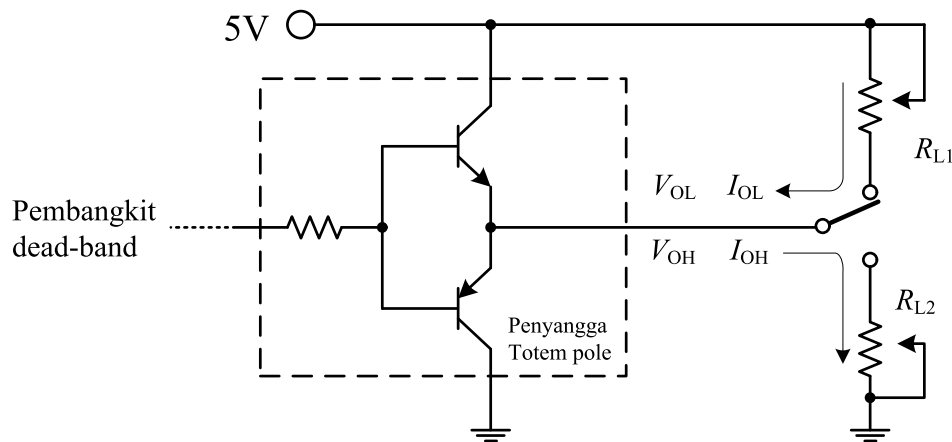
4.1 Data Pengujian

Pengujian *dead band* yang dihasilkan dari rancangan dilakukan pada frekuensi 1k Hz, *duty cycle* 50%. Lebar *dead*

band yang dihasilkan sekitar $10\mu\text{s}$ seperti yang terlihat dalam Gambar 7.



Gambar 7. Gelombang PWM dengan *dead band*



Gambar 8. Pengujian Rangkaian Penyangga

Skema pengujian rangkaian penyangga dilakukan dengan tanpa beban dan berbeban. Pengukuran berbeban dilakukan dengan resistor geser, diukur arus maksimal dalam keadaan rendah (*sink current*) maupun keadaan tinggi (*source current*) dengan batas tegangan output standar TTL. Hasil pengukuran adalah sebagai berikut,

$$I_{OL(\text{mak})} = 40 \text{ mA pada tegangan output } V_{OL(\text{mak})} = 0,8 \text{ volt}$$

$$I_{OH(\text{mak})} = 70 \text{ mA pada tegangan output } V_{OH(\text{min})} = 2,0 \text{ volt}$$

Pengujian tanpa beban untuk keadaan output rendah bernilai minimal sedangkan keadaan tinggi bernilai maksimal. Hasil pengukuran diperoleh data sebagai berikut,

$$V_{OL}(\text{min}) = 0,4 \text{ volt,}$$

$$V_{OH}(\text{mak}) = 4,3 \text{ volt}$$

4.2 Pembahasan

Dengan perubahan nilai kapasitor maka lebar *dead band* yang terbentuk sekitar $10\mu\text{s}$. Lebar pulsa minimal yang dapat digunakan dengan lebar *dead band* tersebut tidak boleh lebih kecil atau sama dengan $10\mu\text{s}$. Jika lebar pulsa dikurangi *dead band* terkecil adalah $10\mu\text{s}$ maka lebar pulsa sebenarnya adalah $20\mu\text{s}$ atau *duty cycle* terkecil adalah 2% jika frekuensi PWM adalah 1 KHz.

Rangkaian penyangga dengan susunan *totem-pole* menghasilkan sifat yang sama dengan keluaran rangkaian logika digital. Arus output tinggi akan keluar rangkaian dan arus output rendah akan masuk. BJT rangkaian penyangga sama-sama dalam konfigurasi common collector (CE) sehingga bersifat seperti sumber arus. Nilai arus output level tinggi atau arus sumber, I_{OH} lebih besar dari arus output level rendah atau arus serap, I_{OL} . Batas maksimal berdasar batas tegangan output minimal dan maksimal yang dapat diterima TTL standar.

5. PENUTUP

Lebar *dead band* harus diperhitungkan dari waktu switching keseluruhan dari saklar semikonduktor dan *duty cycle* minimal yang mungkin terjadi dalam suatu pengendalian.

Rancangan *dead band* dengan gerbang Schmitt trigger TTL 7414 dapat mengurangi kemampuan penggerak output secara keseluruhan sehingga diperlukan tambahan rangkaian penyangga.

Rangkaian penyangga dapat dibangun dari semikonduktor tunggal maupun *totem-pole*. Parameter arus dan tegangan output rangkaian penyangga ditentukan dari parameter semikonduktor yang digunakan sebagai saklar.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anuja Namboori, Marshal S. Wani, *Unipolar and Bopolar PWM Inverter*, IJIRST, Vol. 1 issue 7, December 2014
- [2] David L Heiserman, *Handbook of Digital IC Applications*, Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, NJ, 1986
- [3] <http://www.electronic-tutorial.ws>, 2014/04/ Wayne Storr, *RC Charging Circuits*
- [4] [http://avrp.org/wp/2013/Vincent Sieben](http://avrp.org/wp/2013/Vincent%20Sieben), *A High Power H-bridge*
- [5] <http://www.semiconductorsphilips.com> /1997/10/03/ *General Purpose Transistors BC107/108/109. BC177/178/179*
- [6] National Semiconductor, *Logic Data Book*, National Semiconductor Corporation, Santa Clara, 1982